

Устюгов Иван Васильевич, аспирант  
Лазариди Михаил Александрович, инженер  
Устюгов Николай Васильевич, Романов Сергей Сергеевич, студенты  
Научный руководитель: Берг Борис Викторович, проф., д-р техн. наук  
Научный консультант Потапов Виктор Николаевич, доц., канд. техн. наук

## ПРЕДЕЛ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СЖИГАНИЯ ГАЗА НА СОВРЕМЕННЫХ МОЩНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПАРОВЫХ КОТЛАХ

Основной парк паровых котлов тепловых электростанций (ТЭС) России сжигает, в основном, природный газ. Топки этих котлов проектов 60-70-х годов выполнены в основном с использованием опыта американских фирм. В те годы главной идеей отечественных проектов была экономия металла и сокращение габаритов топок, что официально было закреплено в до сих пор действующих «Нормах технологического проектирования ТЭС», которые уже противоречат нынешней модели экономики. Все эти «экономии» по мнению специалистов и руководства тех лет были признаками «прогрессивности» решений, и привели к предельному уменьшению объема топок и крайнему увеличению их тепловых напряжений, что противоречит тенденциям мирового котлостроения последних 30 лет. Ведущие мировые фирмы, невзирая на рост стоимости котлов, наоборот снижали тепловые напряжения, увеличивая размеры и высоту топок, создавая условия к радикальному снижению выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ). На лучших котлах это обеспечило рекордные показатели экологической безопасности и экономичности сжигания, прежде всего, самых «трудных» – твердых топлив. Высокие топки повысили надежность циркуляции и теплообмена в топочных экранах, упростили конструкции и снизили применение высоколегированных сталей аустенитного класса. Это сделало котлы более конкурентоспособными.

Другим просчетом отечественных отраслевых стандартов является отказ от регулируемых горелок, который привел к крайне негативным результатам, – в последние 20 лет новые отечественные котлы экономически и экологически стали неконкурентоспособными и были вытеснены с мирового рынка. Горелки этих котлов (нормализованные по ОСТ) оказались совершенно непригодными для управления круткой формируемых факелов и, что еще хуже, не способны формировать специальную структуру воздушного потока при входе в топку в области ввода и воспламенения топлива. Такая структура потока необходима для создания управляемых избытков воздуха в ряде локальных зон факела с восстановительной газовой атмосферой. Другой недоступный на этих горелках прием, – это управляемый высокоскоростной ввод воздуха в периферийные и хвостовые зоны горящих факелов горелок, без чего невозможно дожигание восстановительной атмосферы с поддержанием в периферийных зонах факелов местных избытков воздуха, приближающихся к единице. Этот прием полезен также для предотвращения выбросов канцерогенных ПАУ.

Еще один признак горелки экологически чистого сжигания – это наличие механизма стабилизации горения при снижении интенсивности крутки факела с приведенными выше особенностями. Лучшие зарубежные горелки используют старый прием – конуса и шайбы (плохообтекаемые тела), которые служат также

турбулизаторами отдельных зон горящего факела, - очень нужная функция при позонном сжигании топлива в восстановительной атмосфере. Но эти приемы изъятые из отечественных ОСТ на горелки еще 25 лет тому назад, что делает их применение в практике современных российских ТЭС незаконным.

Специальные горелки лучших зарубежных котлов в сочетании с высокой топкой сегодня являются единственным путем одновременного и предельного снижения выбросов  $\text{NO}_x$  и продуктов неполного сгорания, прежде всего, -  $\text{CO}$ . Только полная комбинация перечисленных выше приемов позволила получить рекордное снижение выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и токсичных ПАУ на котлах Германии и США. По нашим данным, достигнуто сжигание углей с концентрациями  $\text{NO}_x$  в дымовых газах 120-160  $\text{мг/м}^3$ , концентрациями  $\text{CO}$  в 50-150  $\text{мг/м}^3$  и при  $q_4$  всего 1-2%. Еще раньше, на ряде газовых ТЭС Европы концентрации  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  в дымовых газах снизили до 50-100  $\text{мг/м}^3$  каждого из них. Это позволило ряду фирм отказаться от катализаторов даже на угольных котлах, а их установка на газовых котлах давно даже не рассматривается. Тот же уровень выбросов был достигнут 20 лет тому назад на котлах ПК-47 ВТГРЭС (концентрации  $\text{NO}_x$  115-125  $\text{мг/м}^3$  и  $\text{CO}$  30-50  $\text{мг/м}^3$  при сжигании газа, а также 140-160  $\text{мг/м}^3$   $\text{NO}_x$  - на мазуте, - все отнесено к 6%  $\text{O}_2$ ), где горелки переделаны с сильным влиянием на периферию факелов встречно-несоосного расположения при одновременном внедрении струйной стабилизации горения и турбулизации центральных зон факелов. Все эти результаты получены без применения газовой рециркуляции.

Известные нам данные работы двух типов газовых котлов местных ТЭС с весьма нестандартными горелками устойчивой стабилизации горения, хорошим смешением при пониженной крутке и нагрузках, в сочетании с сильной газовой рециркуляцией, доказали, что вполне реально достижение концентраций  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}$  не выше 20-30  $\text{мг/м}^3$ . Для достижения этих показателей на полной нагрузке нами предложены схемы горелок и их размещение, при которых все элементы регулирования крутки потоков, турбулизации отдельных зон факелов, а также стабилизации горения, и разработаны чисто аэродинамических приемов на базе специально разработанных струйных систем. Однако, даже ограниченное внедрение этих разработок в рамках действующих нормативов советской эпохи (регулярное переутверждение не меняет сути этих документов) невозможно и бесперспективно в условиях новой модели отечественной экономики.

Наряду с этим вызывает удивление упорное продвижение на всех нам известных ТЭС малоэффективных и по мировым меркам устаревших решений, например, традиционных схем установки над горелками сопел неуправляемого сброса воздуха. Эти схемы с применением стандартных (нормализованных по ОСТ) горелок, на наш взгляд, бесперспективны в большинстве случаев, так как такой сброс воздуха мимо горелок всегда либо вызывает повышение выбросов  $\text{CO}$  и канцерогенов, либо эксплуатационный персонал вынужден повышать общие избытки воздуха. Это противоречие редко обсуждается в литературе, а данные по выбросам  $\text{NO}_x$  очень часто публикуют без данных о концентрациях  $\text{CO}$  или без сведений об изменении химической неполноты сгорания топлива,

что либо вызывает сомнения в корректности постановки экспериментальных работ на котлах, либо в правильности интерпретации полученных результатов.